

日 本 国 特 許 庁
JAPAN PATENT OFFICE

別紙添付の書類に記載されている事項は下記の出願書類に記載されている事項と同一であることを証明する。

This is to certify that the annexed is a true copy of the following application as filed with this Office.

出 願 年 月 日 2 0 0 2 年 7 月 3 1 日
Date of Application:

出 願 番 号 特 願 2 0 0 2 - 2 2 3 6 1 4
Application Number:

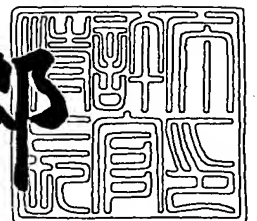
[ST. 10/C] : [J P 2 0 0 2 - 2 2 3 6 1 4]

出 願 人 ア プ ラ イ ド マ テ リ ア ル ズ イ ン コ ー ポ レ イ テ ッ ド
Applicant(s):

2 0 0 3 年 7 月 8 日

特許庁長官
Commissioner,
Japan Patent Office

太田信一郎



出証番号 出証特 2 0 0 3 - 3 0 5 4 2 2 9

【書類名】 特許願

【整理番号】 AMJ-843

【提出日】 平成14年 7月31日

【あて先】 特許庁長官殿

【国際特許分類】 H01L 21/265

H01J 37/08

【発明者】

【住所又は居所】 千葉県成田市新泉 1 4 - 3 野毛平工業団地内 アプライ
ド マテリアルズ ジャパン株式会社内

【氏名】 伊藤 裕之

【発明者】

【住所又は居所】 千葉県成田市新泉 1 4 - 3 野毛平工業団地内 アプライ
ド マテリアルズ ジャパン株式会社内

【氏名】 松永 保彦

【特許出願人】

【識別番号】 390040660

【氏名又は名称】 アプライド マテリアルズ インコーポレイテッド

【代理人】

【識別番号】 100088155

【弁理士】

【氏名又は名称】 長谷川 芳樹

【選任した代理人】

【識別番号】 100094318

【弁理士】

【氏名又は名称】 山田 行一

【選任した代理人】

【識別番号】 100104282

【弁理士】

【氏名又は名称】 鈴木 康仁

【手数料の表示】**【予納台帳番号】** 014708**【納付金額】** 21,000円**【提出物件の目録】****【物件名】** 明細書 1**【物件名】** 図面 1**【物件名】** 要約書 1**【プルーフの要否】** 要

【書類名】 明細書

【発明の名称】 イオン注入方法及びSOIウエハの製造方法、並びにイオン注入装置

【特許請求の範囲】

【請求項1】 半導体基板にイオンビームを照射してイオン注入を行う方法であって、

減圧されたチャンバ内で所定ガスを励起して所定の質量数を有するイオンを含むプラズマを生成させ、前記イオンを前記チャンバ外部に引き出すときの引出方向に沿って磁場を形成し、前記チャンバから前記イオンを所定の引出エネルギーで引き出すことを特徴とするイオン注入方法。

【請求項2】 前記イオンの質量数が20以下であることを特徴とする、請求項1に記載のイオン注入方法。

【請求項3】 前記イオンの引出エネルギーが10keV以下であることを特徴とする、請求項1又は2に記載のイオン注入方法。

【請求項4】 前記イオンの引出エネルギーが1keV以下であることを特徴とする、請求項1～3のうちのいずれか一項に記載のイオン注入方法。

【請求項5】 前記ガスが水素、ヘリウム及びホウ素から選ばれる少なくとも1種であることを特徴とする、請求項1～4のうちのいずれか一項に記載のイオン注入方法。

【請求項6】 前記ガスをアーク放電により励起して前記プラズマを生成させることを特徴とする、請求項1～5のうちのいずれか一項に記載のイオン注入方法。

【請求項7】 前記ガスをマイクロ波により励起して前記プラズマを生成させることを特徴とする、請求項1～5のうちのいずれか一項に記載のイオン注入方法。

【請求項8】 前記ガスが水素であり、該水素ガスをマイクロ波により励起して水素分子イオン含むプラズマを生成させることを特徴とする、請求項7に記載のイオン注入方法。

【請求項9】 前記マイクロ波の周波数及び前記磁場の強さが、下記式(1

) 又は (2) :

【数 1】

$$\omega > \frac{eB}{2\pi m_e} \quad (1)$$

【数 2】

$$\omega < \frac{eB}{2\pi m_e} \quad (2)$$

[式 (1)、(2) 中、 ω はマイクロ波の周波数を表し、 m_e は電子の質量を表し、 e は電子の電荷を表し、 B は磁場の強さを表す]

で表される条件を満たすことを特徴とする、請求項 8 に記載のイオン注入方法。

【請求項 10】 前記チャンバ内に前記水素ガスが導入されてから前記チャンバ外部に前記水素分子イオンが引き出されるまでの平均滞留時間が $5 \times 10^{-4} \sim 5 \times 10^{-3}$ 秒であることを特徴とする、請求項 8 又は 9 に記載のイオン注入方法。

【請求項 11】 前記半導体基板として Si 基板上に絶縁層を備えたものを用い、前記絶縁層の側から前記水素分子イオンを照射して前記 Si 基板の所定深さに前記水素分子イオンを注入することを特徴とする、請求項 8 ～ 10 のうちのいずれか一項に記載のイオン注入方法。

【請求項 12】 前記半導体基板として Si 基板上に SiO₂ 層を備えたものを用い、前記 SiO₂ 層の側から前記水素分子イオンを照射して前記 Si 基板の所定深さに前記水素分子イオンを注入することを特徴とする、請求項 8 ～ 11 のうちのいずれか一項に記載のイオン注入方法。

【請求項 13】 Si 基板の一面上に絶縁層を有する第 1 のウエハの所定深さに水素イオン注入層を形成するイオン注入工程と、前記イオン注入工程後の前記第 1 のウエハの前記絶縁層上に Si 基板からなる第 2 のウエハを積層して積層体を得る積層工程と、前記積層体を前記水素イオン注入層で分断する分断工程と、を有する SOI ウエハの製造方法であって、前記イオン注入工程において、請求項 8 ～ 12 のうちのいずれか一項に記載のイオン注入方法により前記水素イオン注入層を形成することを特徴とする SOI ウエハの製造方法。

【請求項 14】 半導体基板にイオンビームを照射してイオン注入を行うイオン注入装置であって、

減圧されたチャンバ内で所定ガスを励起して所定の質量数を有するイオンを含むプラズマを生成させるイオン源と、

前記イオンを前記チャンバ外部に引き出すときの引出方向に沿って磁場を形成する磁石と、

前記チャンバから前記イオンを所定の引出エネルギーで引き出す引出電極と、を備えることを特徴とするイオン注入装置。

【請求項 15】 前記イオン源が、質量数 20 以下のイオンを含むプラズマを生成させるものであることを特徴とする、請求項 14 に記載のイオン注入装置。

【請求項 16】 前記引出電極が、前記イオンを引出エネルギー 10 keV 以下で引き出すものであることを特徴とする、請求項 14 又は 15 に記載のイオン注入装置。

【請求項 17】 前記磁石が、前記イオンの引出方向に沿って前記チャンバの外部を巻回するソレノイドコイルであることを特徴とする、請求項 14～16 のうちのいずれか一項に記載のイオン注入装置。

【請求項 18】 前記磁石が、前記イオン源の前記引出電極と反対側に設けられ、N 極及び S 極のうち一方が前記引出電極に近い側、他方が前記引出電極に遠い側となるように配置された永久磁石であることを特徴とする、請求項 14～16 のうちのいずれか一項に記載のイオン注入装置。

【請求項 19】 前記磁石が、前記イオン源の前記引出電極と反対側に設けられ、軟鋼又は磁性体からなる芯材と、該芯材の外周を所定の方向に巻回するソレノイドコイルとを備える電磁石であることを特徴とする、請求項 14～16 のうちのいずれか一項に記載のイオン注入装置。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】

本発明は、イオン注入方法及び SOI ウエハの製造方法、並びにイオン注入装

置に関する。

【0002】

【従来の技術】

従来、ICデバイスの分野では、トランジスターの接合部を形成する際に、半導体基板に所定のイオンを注入する方法が利用されている。

【0003】

また、SOIウエハ (Silicon on Insulator) の製造方法の一つであるスマートカット法においてもイオン注入が利用される (特開 2000-12285 号公報等)。スマートカット法とは、Si 基板の表面に形成された絶縁層 (SiO₂ 層等) を介して Si 基板に水素イオンを注入し、この基板を別の Si 基板と貼り合わせた後で水素イオン注入層の部分で分断することによって SOI ウエハを製作するものである。

【0004】

イオン注入は、通常、イオン注入装置を用いて行われる。イオン注入装置のイオン源としては、ホットカソードを用いたアーク放電型イオン源が一般的である。このタイプのイオン源にあっては、電気的なアーク放電のみで高密度のプラズマを生成させることが比較的困難であるため、プラズマ室をカソードに沿って貫通する (すなわちイオンの引出方向と直交する) 方向に磁場を形成することで、プラズマ生成の促進及び引き出されるイオンのビーム電流の向上が図られている。

【0005】

【発明が解決しようとする課題】

ところで、近年の IC デバイスの微細化・高性能化に伴い、注入されるイオンのエネルギーは加速的に減少している。例えば、ホウ素 (B) を注入する場合にはイオンのエネルギーが 1 keV 未満であることが求められている。

【0006】

しかしながら、上記従来のイオン注入を用いてイオンを注入しようとする、イオン注入に必要なビーム電流が減少してしまう。このビーム電流の減少は、軽い (すなわち質量数の小さい) イオンや低エネルギーのイオンを注入する場合に

特に起こりやすい。そのため、高ドーズのイオン注入を要するトランジスターの接合部形成やSOIウエハのイオン注入層形成等の工程においては、妥当なスループットをもってイオン注入を行うことができない。

【0007】

本発明は、上記従来技術の有する課題に鑑みてなされたものであり、イオンを半導体基板に注入するに際し、質量数の小さいイオンや低エネルギーのイオンであってもビーム電流を高めて十分なスループットを達成することが可能なイオン注入方法、SOIウエハの製造方法、並びにイオン注入装置を提供することを目的とする。

【0008】

【課題を解決するための手段】

本発明者らは、上記目的を達成すべく鋭意検討した結果、従来のイオン注入装置におけるイオンのビーム電流の減少は、イオンの引出の促進のために形成された磁場によりイオンが曲げられてその一部が引出電極等に衝突することに起因することを見出し、かかる知見に基づいて本発明を完成するに至った。

【0009】

上記課題を解決するために、本発明のイオン注入方法は、半導体基板にイオンビームを照射してイオン注入を行う方法であって、減圧されたチャンバ内で所定ガスを励起して所定の質量数を有するイオンを含むプラズマを生成させ、イオンをチャンバ外部に引き出すときの引出方向に沿って磁場を形成し、チャンバからイオンを所定の引出エネルギーで引き出すことを特徴とする。

【0010】

このように、イオンをチャンバ外部に引き出す際に、イオンの引出方向に沿って磁場を形成することによって、当該磁場によりイオンの引出が促進されてイオンのビーム電流が向上する。このとき、当該磁場は引き出されたイオンの進行方向に影響を与えないため、イオンの進行方向は実質的にイオンの引出方向（すなわち磁場の方向）のままであり、引き出されたイオンが磁場により曲げられてイオンが引出電極等に衝突する現象は起こらない。従って、引き出されたイオンはそのビーム電流が高水準に維持されたままイオン注入に供されるので、質量数の

小さいイオンや低エネルギーのイオンを半導体基板に注入する場合であっても十分に高いスループットを達成することができる。

【0011】

本発明のイオン注入方法は、イオンの質量数が20以下であることを特徴としてもよい。

【0012】

また、本発明のイオン注入方法は、イオンの引出エネルギーが10keV以下、さらには1keV以下であることを特徴としてもよい。

【0013】

本発明により奏される上述の効果は、イオンの質量数が小さいほど、また、引出エネルギーが小さいほど大きくなるため、このように質量数が小さいイオン及び／又は引出エネルギーの小さいイオンを用いてイオン注入を好適に行うことができる。

【0014】

また、本発明のイオン注入方法は、ガスが水素、ヘリウム及びホウ素から選ばれる少なくとも1種であることを特徴としてもよい。

【0015】

また、本発明のイオン注入方法は、ガスをアーク放電により励起してプラズマを生成させることを特徴としてもよい。アーク放電によりプラズマを生成させる場合に、イオンの引出方向に沿って磁場を形成することで、イオン源等の大幅な改良や大型化等を必要とせずに高水準のスループットが実現可能である。このアーク放電によるプラズマ生成は、設備コストや運転コストが増大することなく生産効率を高めることが可能な点で非常に有用である。

【0016】

また、本発明のイオン注入は、ガスをマイクロ波により励起して前記プラズマを生成させることを特徴としてもよい。

【0017】

また、本発明のイオン注入方法は、ガスが水素であり、該水素ガスをマイクロ波により励起して水素分子イオン含むプラズマを生成させることを特徴としても

よい。なお、従来法では、水素イオンを注入する際には水素原子イオン (H^+) を利用するのが一般的である。

【0018】

また、本発明のイオン注入方法は、半導体基板として Si 基板上に絶縁層を備えたものを用い、絶縁層の側から水素分子イオンを照射して Si 基板の所定深さに水素分子イオンを注入することを特徴としてもよい。

【0019】

さらに、本発明のイオン注入方法は、半導体基板として Si 基板上に SiO_2 層を備えたものを用い、 SiO_2 層の側から水素分子イオンを照射して Si 基板の所定深さに水素分子イオンを注入することを特徴としてもよい。

【0020】

また、本発明の SOI ウエハの製造方法は、 Si 基板の一方面上に絶縁層を有する第1のウエハの所定深さに水素イオン注入層を形成するイオン注入工程と、イオン注入工程後の第1のウエハの絶縁層上に Si 基板からなる第2のウエハを積層して積層体を得る積層工程と、積層体を水素イオン注入層で分断する分断工程と、を有する SOI ウエハの製造方法であって、イオン注入工程において、上記本発明のイオン注入方法により水素イオン注入層を形成することを特徴とする。

【0021】

上記製造方法では、第1のウエハ（絶縁層/ Si 基板）の所定深さに水素イオン注入層を形成し、その絶縁層上に第2のウエハを積層して積層体（ Si 基板/絶縁層/ Si 層/水素イオン注入層/ Si 基板）とし、この積層体を水素イオン注入層で分断することによって、 SOI ウエハ（ Si 層/絶縁層/ Si 基板）が得られる。このとき、イオン注入工程において上記本発明のイオン注入方法を適用することにより、 Si 基板の所定深さに水素イオンを効率よく注入してスループットを飛躍的に向上させることができる。従って、高集積化等の点で優れた SOI ウエハを効率よく且つ確実に製造可能な点で上記製造方法は非常に有用である。

【0022】

また、本発明のイオン注入装置は、半導体基板にイオンビームを照射してイオン注入を行うイオン注入装置であって、減圧されたチャンバ内で所定ガスを励起して所定の質量数を有するイオンを含むプラズマを生成させるイオン源と、イオンをチャンバ外部に引き出すときの引出方向に沿って磁場を形成する磁石と、チャンバからイオンを所定の引出エネルギーで引き出す引出電極と、を備えることを特徴とする。

【0023】

上記イオン注入装置では、イオンをチャンバ外部に引き出す際に、イオンの引出方向に沿って形成された磁場によりイオンの引出が促進されるのでビーム電流が向上し、また、引き出されたイオンビームは磁場により曲げられないのでそのビーム電流は高水準に維持される。その結果、十分に高いスループットでイオン注入を行うことが可能となる。

【0024】

本発明のイオン注入装置は、イオン源が、質量数20以下のイオンを含むプラズマを生成させるものであることを特徴としてもよい。

【0025】

また、本発明のイオン注入装置は、引出電極が、イオンを引出エネルギー10 keV以下で引き出すものであることを特徴としてもよい。

【0026】

また、本発明のイオン注入装置は、磁石が、イオンの引出方向に沿ってチャンバの外部を巻回するソレノイドコイルであることを特徴としてもよい。

【0027】

また、本発明のイオン注入装置は、磁石が、イオン源の引出電極と反対側に設けられ、引出電極に近い側がN極、引出電極に遠い側がS極となるように配置された永久磁石であることを特徴としてもよい。

【0028】

またさらに、本発明のイオン注入装置は、磁石が、イオン源の引出電極と反対側に設けられ、軟鋼又は磁性体からなる芯材と、該芯材の外周を所定の方向に巻回するソレノイドコイルとを備える電磁石であることを特徴としてもよい。

【0029】**【発明の実施の形態】**

以下、図面を参照しつつ本発明の好適な実施形態について説明する。なお、図面中、同一又は相当部分には同一符号を付することとし、重複する説明は省略する。

【0030】

先ず、イオン注入方法及びイオン注入装置について説明する。

【0031】

図1は本発明のイオン注入装置の一例を模式的に示す説明図である。図1に示した装置は、アーク放電型のイオン源5、イオン源5に所定ガスを供給するポンプ17及び1対の引出電極8、9を含むイオン引出アセンブリ100、イオン質量セクタ130、並びにターゲット基板フォルダ140を備えるものである。

【0032】

図2はイオン引出アセンブリ100の概略構成を示す断面図である。同図において、イオン引出アセンブリ100はソースチャンバ3を有し、このソースチャンバ3内はターボポンプ4により所定の真空度に減圧されている。ソースチャンバ3内にはイオン源5が収容されている。

【0033】

このイオン源5はアーク放電型のもので、ガス供給源（図示せず）からプラズマチャンバ内に導入されるドーピングガスを放電させてプラズマ状態を作り出し、所定の元素（分子）をイオン化させるものである。導入されるガスは、質量数20以下のイオンを発生させるためのもので、例えば、水素、ヘリウム又はホウ素のいずれか1種、あるいはこれらの2種以上の混合ガスが好適に使用される。

【0034】

ソースチャンバ3内において、イオン源5の周囲には、所定方向に巻回されたソレノイドコイル6が配置されている。ソレノイドコイル6に電流を流すことで、後述する引出電極系7によるイオンの引出方向に沿って磁場が形成される。

【0035】

イオン源5の前面側には、イオン源5で生成されたイオンを引き出すための引

出電極系 7 が配置されている。この引出電極系 7 は、図 2 に示すように、互いに対向配置された 1 対の引出電極 8, 9 を有している。ここで、引出電極 8 は主電極であり、引出電極 9 は接地電極である。

【0036】

主電極 8 は、イオンビーム IB を通すためのスリット 12 a を有する電極本体 12 と、この電極本体 12 を囲むように構成された円盤状の取付プレート 13 とを有している。また、接地電極 9 は、イオンビーム IB を通すためのスリット 14 a を有する電極本体 14 と、この電極本体 14 を囲むように構成された円盤状の取付プレート 15 とを有している。主電極 8 の取付プレート 13 は、支持部材 16 a を介してソースチャンバ 3 に固定されている。また、接地電極 9 の取付プレート 15 は、支持部材 16 b を介してソースチャンバ 3 に固定されている。

【0037】

スリット 12 a, 14 a は、同じ径としても良いし、異なる径としても良く、それはイオン注入条件等に応じて決定する。また、電極本体 12, 14 の各々に、径の異なるスリットを 2 つ以上設け、イオンビーム IB の引き出し位置を切り換えてもよい。

【0038】

このような構造を有するイオン引出アセンブリ 100 において、イオン源 5 と引出電極（主電極）8 との間に所望の電圧を印加すると、イオンが引き出されると共に加速され、イオンビーム IB が形成される。例えば陽イオンを引き出す場合、イオン源 5 は接地電極 9 に対して正電圧に、主電極 8 は接地電極 9 に対して負電圧に維持される。このときのイオンの引出エネルギーは、下記式 (3) で求められる。本発明におけるイオンの引出エネルギーは 10 keV 以下、好ましくは 1 keV 以下である。

【0039】

$$E = ZV [\text{eV}] = ZeV [\text{J}] \quad (3)$$

[式 (3) 中、E はイオンの引出エネルギーを表し、Z はイオンの電荷数を表し、V は引出電圧（主電極とイオン源との電位差）を表し、e は電子の電荷を表す。]

また、イオンの引出は、ソレノイドコイル 6 により形成されたイオンの引出方

向に沿った磁場により促進される。このときのイオンの引出方向とソレノイドコイル 6 により形成される磁場の方向との関係を図 3 に概念的に示す。図示の通り、ソレノイドコイル 6 の所定方向に電流を通すと、イオンの引出方向に沿って、すなわちイオン源 5 から引出電極 8、9 のスリット 12 a、14 a に向けて磁場が形成され、イオン源 5 からのイオンの引出が促進される。このとき、イオン源 5 から引き出されたイオンの進行方向は実質的にイオンの引出方向（すなわち磁場の方向）のままであり、引き出されたイオンが磁場により曲げられてイオンが引出電極系 7 等に衝突する現象は起こらないため、イオンのビーム電流は高水準に維持される。

【0040】

図 1 に戻り、イオン引出アセンブリ 100 からのイオンビーム IB は、イオン質量セクタ 130 を通してターゲット基板フォルダ 140 に向けて方向づけられる。

【0041】

イオン質量セクタ 130 は、質量、質量選択スリット 131 と共に作動する磁気セクタ質量分析器 132 を備える。磁気セクタ質量分析器 132 は図 1 の紙面に対して垂直方向の磁場の領域を含み、そのような磁場の中で、所定の質量／荷電比を持つ定速度のイオン種が取り出される。スリット 131 は、磁気セクタ質量分析機 132 からのイオンビームのうち必要とするイオンビーム IB のみを通過させる。スリット 131 及び磁気セクタ質量分析機 132 は、ハウジングで囲むか、もしくは機構中にチューブを貫通させる形をとり、その内部はターボポンプ（図示せず）により所定の真空度に減圧されている。

【0042】

そして、イオン質量セクタ 130 を通るイオンビーム IB から質量数 20 以下の所定イオンが選別され、このイオンがターゲット基板フォルダ 140 に装着されたターゲット基板 141 に照射される。

【0043】

このように第 1 実施形態では、アーク放電型のイオン源 5 で所定イオンを含むプラズマを生成させ、このプラズマから当該イオンを所定の引出エネルギーでソ

ースチャンバ3外部に引き出す際に、ソレノイドコイル9によりイオンの引出方向に沿って磁場を形成することによって、引き出されたイオンが磁場により曲げられることなくイオン源5からのイオンの引出を促進し、イオンのビーム電流を高水準に維持することができる。このようにして引き出されたイオンをイオン質量セクタ130を介してターゲット141に照射することによって、質量数20以下のイオン及び／又は引出エネルギー10keV以下（さらには1keV以下）のイオンであっても十分に高いスループットでイオン注入を行うことが可能となる。

【0044】

また、このようにアーク放電型のイオン源5の周囲にソレノイドコイル9を配置して上述の磁場を形成することで、イオン源5等の大幅な改良や大型化等を必要とせずに高水準のスループットが実現可能である。

【0045】

さらに、上記磁場の形成によるイオンの引出電極への衝突防止に伴い、引出電極等の長寿命化、パーティクル汚染の低減、真空ポンプの長寿命化等の効果が奏される。

【0046】

また、イオンの引出方向に沿った磁場の形成手段として、ソレノイドコイル9の代わりに後述する永久磁石又は電磁石を用いることもできる。

【0047】

すなわち、図4に示すように、イオン源5の背面側（引出電極と反対側）に、永久磁石40を引出電極に近い側がN極、引出電極に遠い側がS極となるように配置することによって、イオンの引出方向に沿って磁場が形成されるので、ソレノイドコイル9を用いた場合と同様の効果が得られる。なお、イオンの引出方向に沿って磁場が形成されれば、引出電極に近い側がS極、引出電極に遠い側がN極となるように永久磁石を配置してもよい。

【0048】

また、図5に示すように、イオン源5の背面側（引出電極と反対側）に、軟鋼又は磁性体からなる芯材51と、芯材51の外周を所定の方向に巻回するソレノ

イドコイル 52 とを備える電磁石 50 を配置することによっても、イオンの引出方向に沿って磁場が形成されるので、ソレノイドコイル 9 を用いた場合と同様の効果を得ることができる。

【0049】

また、イオンの引出方向に沿って磁場を形成可能であれば、後述するようにイオン源としてマイクロ波イオン源を用いてもよい。以下、本発明の他の例としてマイクロ波イオン源を用いて水素イオンを注入する場合について説明する。なお、マイクロ波イオン源はホウ素や他の元素を注入する場合にも適用可能である。

【0050】

図 6 は、図 1 中のアーク放電型イオン源 5 と置換可能なマイクロ波イオン源の一例を示す概略構成図である。図 6 中、マグネトロン 21、マグネトロンマウント 22、サーキュレータ 23、パワーモニタ 25、スタブチューナ 26、インターフェースチューブ 27、ソースヘッド 28 がこの順で連結されてマイクロ波イオン源が構成されている。ソースヘッド 28 の前面にはプラズマチャンバ 29 が設けられている。また、サーキュレータ 23 の側部にはダミーロード 24 が設けられている。

【0051】

マグネトロン 21 は所定のマイクロ波（例えば 2.45 GHz のもの）を発生させるもので、このマイクロ波がソースヘッド 28 に導入されてプラズマ生成に利用される。サーキュレータ 23 はマグネトロン 21 側に戻ろうとする反射されたマイクロ波をダミーロード 24 に迂回させるものであり、迂回したマイクロ波はダミーロード 24 で吸収されて熱に変換される。また、スタブチューナ 26 はマイクロ波の反射を小さくしてより多くのマイクロ波がプラズマ生成に消費されるように調整するものである。なお、マイクロ波の出力を検出するパワーモニタ 25、インターフェースチューブ 27 等は必須の要素ではなく、適宜省略することができる。

【0052】

図 7 は、ソースヘッド 28 をマイクロ波の導入路を含む平面で切断したときの断面図である。図 3 中、ソースチャンバー 31 のマグネトロン側（マイクロ波 M

Wの入口側)にはソースブッシング32が形成されており、その端部はソースヘッドの内側に向けて折れ曲がった形状となっている。この折れ曲がり部の先端にはマグネットヨーク33が設けられてソースヘッド28を挿入するための空間を与えている。マグネットヨーク33の前面には開口部を有する出口側プレート34が設けられ、さらにプレート34のマグネトロン側の開口部には凹状のプラズマチャンバ29が配置されている。プラズマチャンバ29の凹部の空間37はプラズマ生成領域であり、この部分に所定ガスが供給される。

【0053】

また、凸状のマグネットポール35は、凸部の先端がプラズマチャンバ29に近接するとともに底部側面がマグネットヨーク33側部の内壁面と密着するように配置されている。このマグネットポール35には底部の中心から凸部先端までを連通するように導波管36が配置されている。この導波管36はマイクロ波をプラズマチャンバ29に導入するものである。

【0054】

マグネットヨーク33及びプレート34の内壁面並びにプラズマチャンバ29及びマグネットポール35の外壁面により形成される空間には、マグネットポール35の凸部を巻回するようにソレノイドコイル38が配置されている。かかる構成により、プラズマチャンバ29から引き出されるイオンの引出方向に沿って磁場が形成される。

【0055】

上記の構成を有するマイクロ波イオン源において、磁場内の電子はローレンツ力を受けて磁束線に沿って旋回する。このとき、プラズマ生成領域37に水素ガスを導入しながら導波管36にマイクロ波を導入すると、磁場内の電子がマイクロ波により励起され、この励起電子とプラズマ生成領域37内のガスとの衝突により水素イオンを含むプラズマが生成する。

【0056】

このようにして生成した水素イオンを引き出してイオンビームを発生させ、アーク放電型イオン源の場合と同様にイオン質量セレクタ130を介してターゲット基板14にイオンを照射する。この場合も、イオンの引出方向に沿って磁場を

形成することで、イオンの進行方向が曲げられて引出電極系 7 等に衝突する現象を防止でき、水素イオンのような質量 20 以下のイオン及び／又は引出エネルギー 10 keV 以下のイオンであっても高水準のビーム電流が達成可能となる。

【0057】

本発明において、マイクロ波イオン源を用いたプラズマ生成は、ECRモード、非ECRモード（Off-ECRモード）のいずれで行ってもよいが、水素ガスを用いる場合は非ECRモードで行うことが好ましい。非ECRモードでプラズマ生成を行うことで、低エネルギー電子による水素分子イオンの生成効率及びプラズマ密度を高めることができ、水素イオンビーム IB の電流密度及び水素分子イオンの割合を向上させることができる。

【0058】

なお、ここでいう ECR（Electron Cyclotron Resonance）モードとは、マイクロ波の周波数を下記式（4）：

【0059】

【数3】

$$\omega_e = \frac{eB}{2\pi m_e} \approx 2.80B \times 10^{10} [\text{Hz}] \quad (4)$$

【0060】

[式（4）中、 ω_e は電子サイクロトロン周波数を表し、 m_e は電子の質量を表し、 e は電子の電荷を表し、 B は磁場の強さを表す。]

で表される電子サイクロトロン周波数（磁束線に沿って旋回する電子の周波数）と一致させることによって、電子サイクロトロン共鳴吸収過程で電子を選択的に励起し、その励起電子と水素分子とを衝突させてプラズマを生成させるものである。しかしながら、ECRモードでプラズマ生成を行うと、水素原子イオン（ H^+ ）が生成しやすく、水素イオンビームの電流密度が不十分となりやすい。

【0061】

一方、非ECRモードとは、ECR条件を満たさないように、すなわちマイクロ波の周波数及び磁場の強さが下記式（1）又は（2）：

【0062】

【数 4】

$$\omega > \frac{eB}{2\pi m_e} \quad (1)$$

【0063】

【数 5】

$$\omega < \frac{eB}{2\pi m_e} \quad (2)$$

【0064】

〔式(1)、(2)中、 ω はマイクロ波の周波数を表し、 m_e は電子の質量を表し、 e は電子の電荷を表し、 B は磁場の強さを表す〕

で表される条件を満たすように設定してプラズマ生成を行うものである。なお、非ECRモード設定の際には、マイクロ波の周波数を固定して磁場の強さを調節してもよく、また、磁場の強さを固定してマイクロ波の周波数を調節してもよい。

【0065】

非ECRモードにおいては、マイクロ波の周波数 ω が電子サイクロトロン周波数 ω_e よりも10～50%（より好ましくは20～40%）だけ高く（又は低く）なるように、マイクロ波の周波数及び磁場の強さを設定することが好ましい。従って、例えば2.45GHzのマイクロ波を用いる場合、磁場の強さは96～131mT又は44～79mT（より好ましくは105～123mT又は53～70mT）であることが好ましい。また、14.5GHzのマイクロ波を用いる場合、磁場の強さは570～777mT又は259～466mTであることが好ましい。

【0066】

また、プラズマ生成領域37に水素ガスが導入されてから水素イオンビームIBが引き出されるまでの水素分子の平均滞留時間は、 $5 \times 10^{-4} \sim 5 \times 10^{-3}$ 秒であることが好ましく、 $7 \times 10^{-4} \sim 3 \times 10^{-3}$ 秒であることがより好ましい。平均滞留時間が前記上限値を超えると水素分子イオンの割合が低下する傾向にあり、また、前記下限値未満であるとプラズマの生成効率が低下する傾向にある。

当該平均滞留時間の設定は、プラズマチャンバ29の形状及びサイズ、水素ガスの供給量、水素イオンビームIBの引き出し量等の調節により行うことができる。

【0067】

なお、アーク放電型イオン源やRFイオン源等を用いた従来法では、水素分子イオンよりも水素原子イオンの方が生成しやすいため、イオン注入の際には専ら水素原子イオンが利用されていた。これに対して本発明のイオン注入方法では、マイクロ波を利用してプラズマ生成を行い、イオンの引出方向に沿って磁場を形成してイオンを引き出すことで、従来法に比べてプラズマ中の水素分子イオンの割合を飛躍的に増大させ、さらにはその水素分子イオンを低い引出エネルギーで且つ高いビーム電流で利用することができる。従って、従来では達成が困難であった高水準のスルーputを容易に実現することができる。

【0068】

例えば、本発明者は、マイクロ波の周波数が2.45GHz、マイクロ波の出力が700W、磁場の強さが70mTである非ECRモードにおいて、水素分子の平均滞留時間を 8.9×10^{-4} 秒としてプラズマを生成させたとき、 H^+ イオンが13.5%、 H_2^+ イオンが78.1%、 H_3^+ イオンが8.4%というイオン組成が達成されたことを確認している。これに対して、従来型のアーク放電型イオン源により生成したプラズマ中のイオン組成は、 H^+ イオンが60.2%、 H_2^+ イオンが22.9%、 H_3^+ イオンが16.9%であった。

【0069】

本発明のイオン注入方法及びイオン注入装置は、上述のように高水準のスルーputの達成が可能なものであり、高ドーズのイオン注入を要するトランジスタの接合部形成やSOIウエハのイオン注入層形成等の工程において非常に有用である。

【0070】

ここで、SOIウエハの製造方法について、Si層/SiO₂層/Si基板の積層構造を有するSOIウエハを製造する場合を例にとって詳述する。

【0071】

図 8 (a) ~ (d) はそれぞれ各工程におけるウエハの積層構造を模式的に示す断面図である。

【0072】

イオン注入工程においては、ターゲット基板として、Si 基板 (Si-donor wafer) 81 の一方向上に SiO₂ 層 82 が形成されたものを用いる。SiO₂ 層 82 は、例えば Si 基板の表面を酸化させることにより形成可能であり、その厚さは例えば 0.01 ~ 1.0 μm である。

【0073】

このターゲット基板に対して、ウエハの SiO₂ 層 82 側から水素分子イオンを照射することによって、Si 基板 82 中の所定深さに水素イオン注入層 83 が形成され、これに伴い SiO₂ 層 82 と水素イオン注入層 83 との間に薄い Si 層が形成される (図 8 (a))。

【0074】

イオン注入工程において、マイクロ波イオン源を用いる場合は、非 ECR モードによるプラズマ生成を行うことが好ましい。これにより、水素分子イオンの生成が促進されるため、非常に高いスループットが実現可能となり、その結果、SOI ウエハの製造効率を飛躍的に向上させることができる。本発明者は、非 ECR モードによりプラズマ生成を行い、イオンの引出方向に沿って磁場を形成してイオンを引き出した場合に、アーク放電型イオン源や RF イオン源等を用いる従来の製造方法の場合と比較して、SOI の製造効率が 4 倍以上にまで高められることを確認している。

【0075】

イオン注入工程におけるイオン注入量は 1×10^{16} ions/cm² 以上であることが好ましい。また、水素イオン注入層 83 は、例えば Si 層 84 と SiO₂ 層 82 との界面からの深さ 0.005 ~ 1.5 μm の位置に形成される。

【0076】

次に、ターゲット基板の SiO₂ 層 82 上に Si 基板 (Si-handle wafer) 85 を貼り合わせる (図 8 (b))。なお、SiO₂ 層が形成されていない Si 基板を用いて上記と同様のイオン注入工程を行い、その一方で表面に SiO₂ 層が形

成された Si 基板を用意して、積層工程において両者を貼り合わせることも目的の積層体を得ることができる。

【0077】

この積層体を水素イオン注入層 83 で分断する (図 8 (c))。水素イオン注入層 83 はシリコン原子同士の共有結合が切断された脆弱な層であるため、水素イオン注入層 83 の側面に乾燥空気等のガスを吹き付けたり、機械的に剪断を加えたりすることによって容易に分断することができる。

【0078】

このようにして、Si 基板 85 上に SiO₂ 層 82 及び Si 層 84 がこの順で積層された SOI ウエハが得られる (図 8 (c))。なお、分断工程後の Si 層 84 の表面に水素イオン注入層 83 の一部が残存する場合があるが、研磨処理等を行うことでその残さを容易に除去することができる。また、Si 層 84 を更に研磨することにより、Si 層 84 の厚みを調整することができる。

【0079】

【発明の効果】

以上説明した通り、本発明のイオン注入方法及びイオン注入装置によれば、イオンをチャンバ外部に引き出す際に、イオンの引出方向に沿って磁場を形成することで、イオンの引出が促進されてイオンのビーム電流が向上すると共に、イオンの進行方向に対する磁場の影響が排除されてビーム電流が高水準に維持されるので、質量数が小さいイオン (例えば質量数 20 以下のイオン) 及び／又は引出エネルギーの低いイオン (例えば引出エネルギー 10 keV 以下のイオン) であっても十分に高いスループットでイオン注入を行うことが可能となる。

【0080】

また、本発明の SOI ウエハの製造方法によれば、イオン注入工程の際に上記本発明のイオン注入方法を適用することで高水準のスループットが実現可能となり、高集積化等の点で優れた SOI ウエハを効率よく且つ確実に製造することができる。

【図面の簡単な説明】

【図 1】

本発明のイオン注入装置の一例を示す説明図である。

【図 2】

図 1 に示したイオン注入装置が備えるイオン引出アセンブリ 100 の概略構成を示す断面図である。

【図 3】

ソレノイドコイル 9 により形成される磁場の方向とイオンの引出方向との関係を示す概念図である。

【図 4】

永久磁石 40 により形成される磁場の方向とイオンの引出方向との関係を示す概念図である。

【図 5】

電磁石 50 により形成される磁場の方向とイオンの引出方向との関係を示す概念図である。

【図 6】

本発明において用いられるマイクロ波イオン源の一例を示す概略構成図である。

【図 7】

図 6 に示したマイクロ波イオン源のソースヘッド 28 をマイクロ波の導入路を含む平面で切断したときの断面図である。

【図 8】

(a) ~ (d) はそれぞれ各工程におけるウエハの積層構造を模式的に示す断面図である。

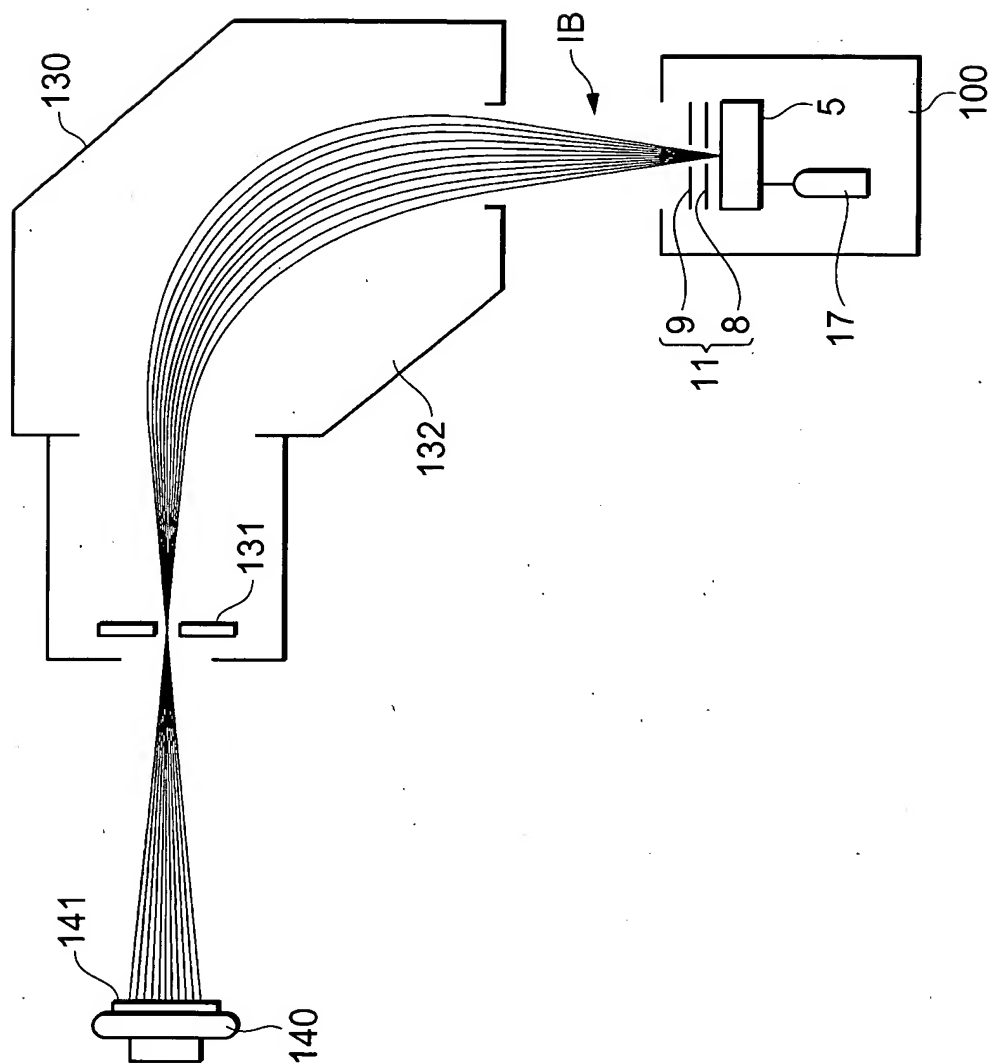
【符号の説明】

100…イオン引出アセンブリ、130…イオン質量セレクタ、131…質量選択スリット、132…磁気セクタ質量分析器、140…ターゲット基板、141…ターゲット基板ホルダ、3…ソースチャンバ、4…ターボポンプ、5…イオン源、6…ソレノイドコイル、7…引出電極系、8…主電極、9…接地電極、12、14…電極本体、12a、14a…スリット、15…取付プレート、17…ポンベ、21…マグネトロン、22…マグネトロンマウント、23…サーキュレ

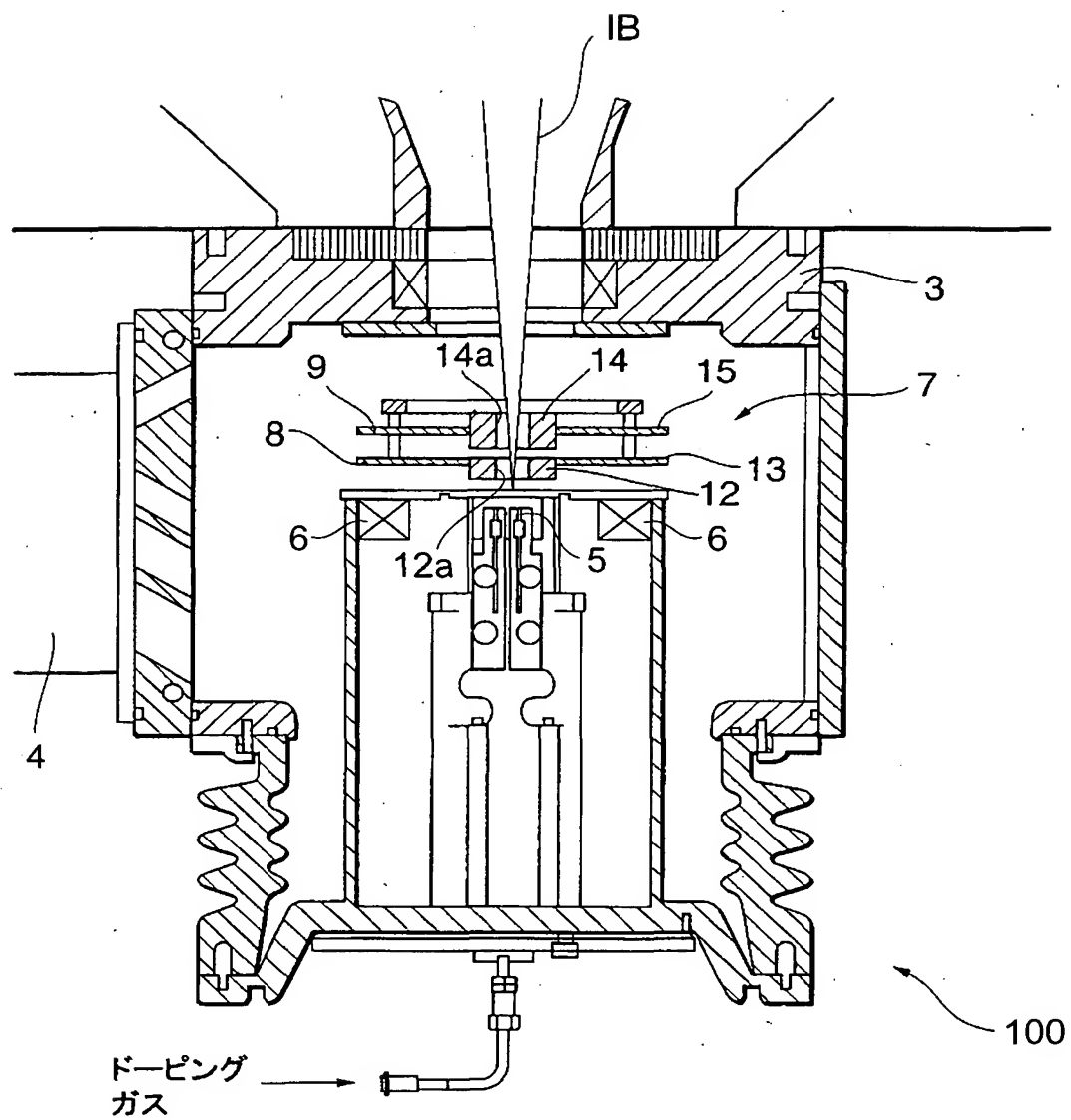
ータ、24…ダミーロード、25…パワーモニタ、26…スタブチューナ、27…インターフェースチューブ、28…ソースヘッド、29…プラズマチャンバ、31…ソースチャンバ、32…ソースブッシング、33…マグネットヨーク、34…出口側プレート、35…マグネットポール、36…導波管、37…プラズマ生成領域、38…ソレノイドコイル、40…永久磁石、50…電磁石、51…心材…ソレノイドコイル、81、85…Si基板、82…SiO₂層、83…水素イオン注入層、84…Si層、IB…イオンビーム、MW…マイクロ波。

【書類名】 図面

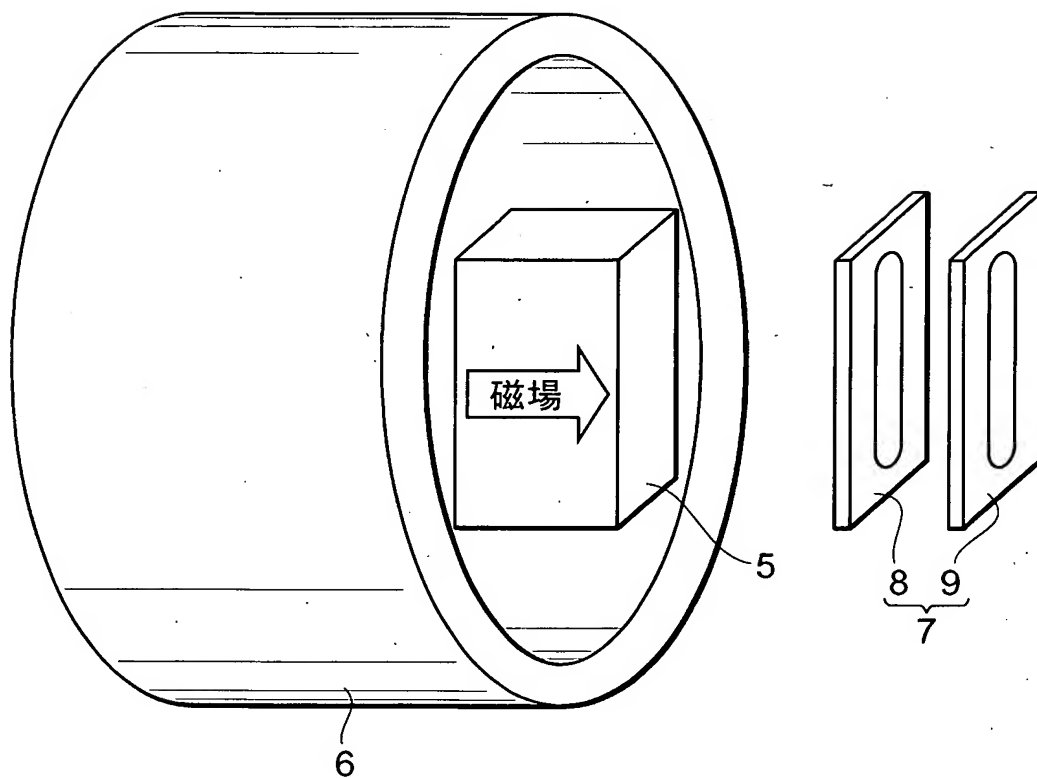
【図 1】



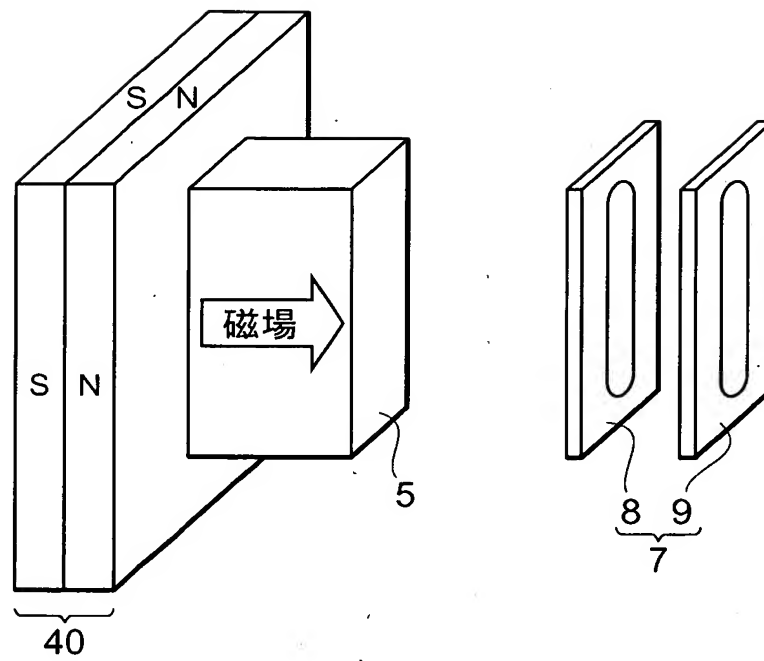
【図 2】



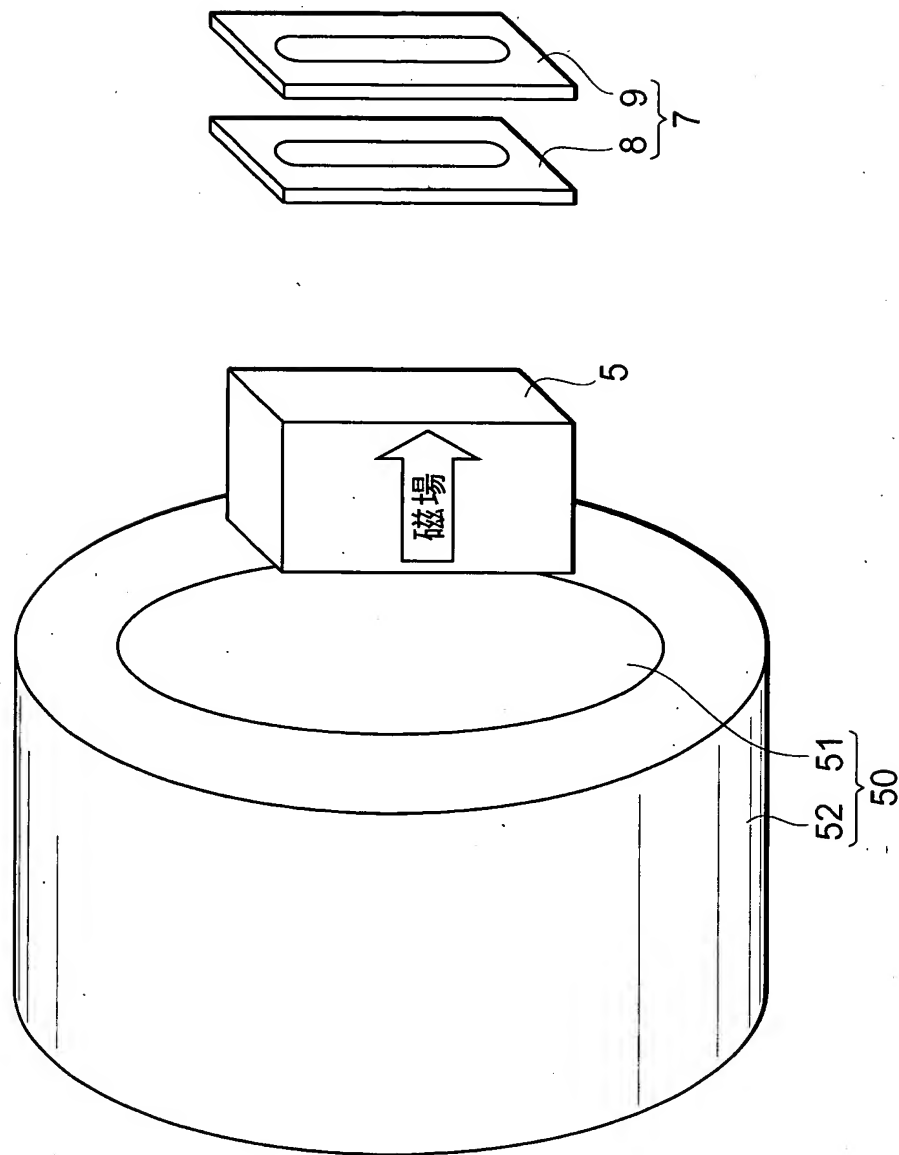
【図 3】



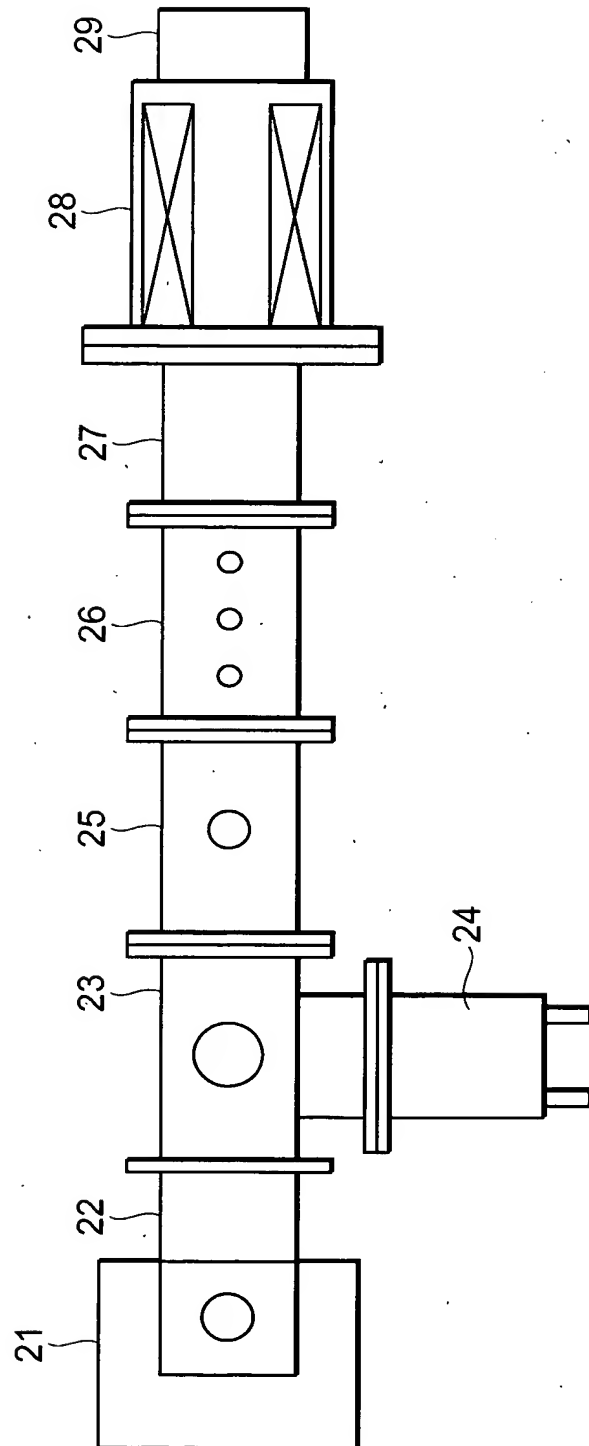
【図 4】



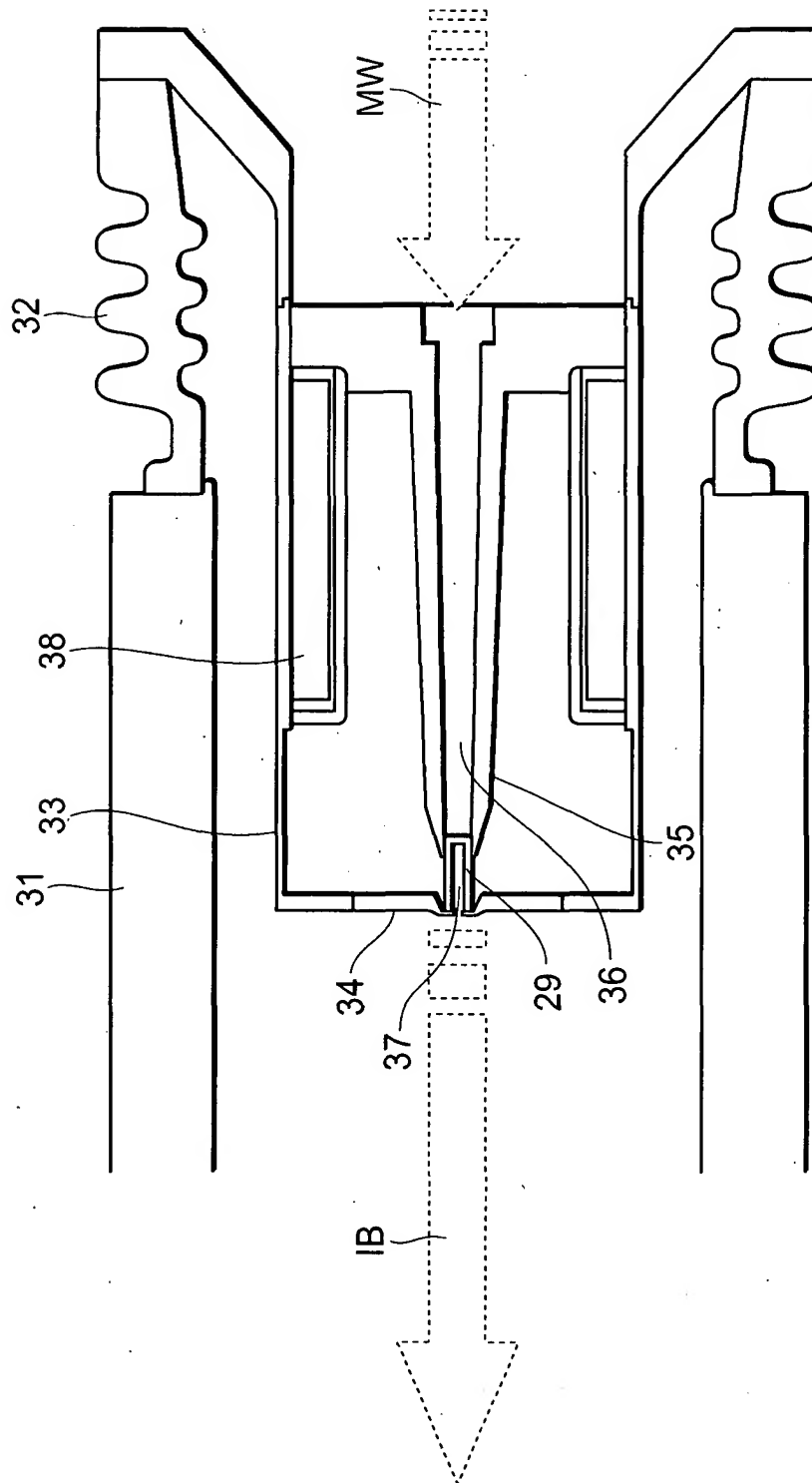
【図 5】



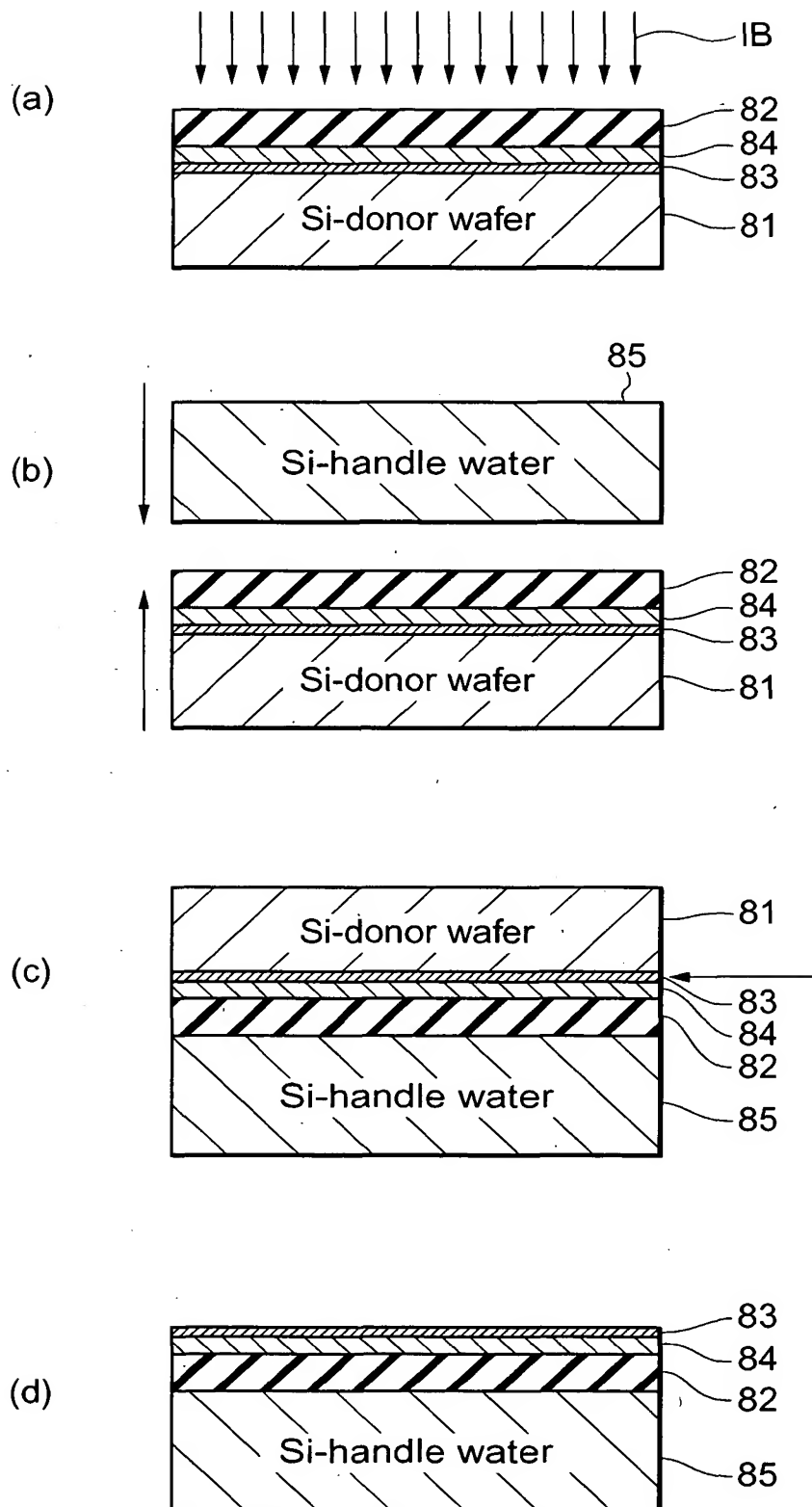
【図 6】



【図 7】



【図 8】



【書類名】 要約書

【要約】

【課題】 質量数の小さいイオンや低エネルギーのイオンであってもビーム電流を高めて十分なスループットを達成することが可能なイオン注入方法、SOIウエハの製造方法、並びにイオン注入装置を提供すること。

【解決手段】 半導体基板にイオンビームを照射してイオン注入を行う際に、減圧されたチャンバ3内で所定ガスを励起して所定イオンを含むプラズマを生成させ、イオンをチャンバ3外部に引き出すときの引出方向に沿ってソレノイドコイル9等により磁場を形成し、チャンバ3からイオンを所定の引出エネルギーで引き出す。かかる磁場の形成によりイオンの引出が促進されるが、この磁場は引き出されたイオンの進行方向に影響を与えないため、イオンのビーム電流を高水準に維持してイオン注入に供することができる。

【選択図】 図2

認定・付加情報

特許出願の番号	特願 2002-223614
受付番号	50201134570
書類名	特許願
担当官	第五担当上席 0094
作成日	平成14年 8月 1日

<認定情報・付加情報>

【特許出願人】

【識別番号】	390040660
【住所又は居所】	アメリカ合衆国 カリフォルニア州 95054 サンタ クララ バウアーズ アベニュー 3 050
【氏名又は名称】	アプライド マテリアルズ インコーポレイテッ ド

【代理人】

申請人

【識別番号】	100088155
【住所又は居所】	東京都中央区銀座二丁目6番12号 大倉本館 創英国際特許法律事務所
【氏名又は名称】	長谷川 芳樹

【選任した代理人】

【識別番号】	100094318
【住所又は居所】	東京都中央区銀座二丁目6番12号 大倉本館 創英国際特許法律事務所
【氏名又は名称】	山田 行一

【選任した代理人】

【識別番号】	100104282
【住所又は居所】	東京都中央区銀座二丁目6番12号 大倉本館 創英国際特許法律事務所
【氏名又は名称】	鈴木 康仁

次頁無

特願 2 0 0 2 - 2 2 3 6 1 4

出 願 人 履 歴 情 報

識別番号

[3 9 0 0 4 0 6 6 0]

1. 変更年月日

1 9 9 0 年 1 2 月 1 2 日

[変更理由]

新規登録

住 所

アメリカ合衆国 カリフォルニア州 9 5 0 5 4 サンタ ク

ララ バウアーズ アベニュー 3 0 5 0

氏 名

アプライド マテリアルズ インコーポレイテッド